

TA1 纯钛潜弧焊接头组织与性能研究

秦占领 胡春海 王卫玲

(西安航天动力机械厂, 西安 710025)



摘要: 针对 10mm 厚 TA1 工业纯钛开展高效的、低成本的潜弧焊工艺试验研究。研究表明: 氦气可有效增加焊缝熔深, 通过合理匹配焊接工艺参数, 采用纯氦气一次可熔透 10mm 厚 TA1 钛板, 获得成型美观的焊接接头; 拉伸试验结果表明: TA1 纯钛潜弧焊接头抗拉强度略低于母材的抗拉强度, 可达到母材的 93.4%, 拉伸试样在显微组织为柱状晶的焊缝区断裂。

关键词: TA1 纯钛; 潜弧焊; 显微组织

Analysis of Microstructure and Property for TA1 Pure Titanium Joints Welded by Submerged Arc Welding

Qin Zhanling Hu Chunhai Wang Weiling

(Xi'an Aerospace Power Machine Factory, Xi'an 710025)

Abstract: TA1 commercial pure titanium with 10mm thick was welded by high efficient and low-cost submersible arc welding. The results showed that, using helium as shielding-gas can remarkably improve weld penetration. The high quality welded joint was obtained and the titanium plate of 10mm thick TA1 can be penetrated by using appropriate parameters and pure helium gas. The tensile test results indicated that, the tensile strength of submersible arc weld joint is as high as 93.4 percent of that base metal, slightly lower strength than base metal. All tensile samples fractured at weld zone, which zone consists of columnar grain.

Key words: TA1 pure titanium; submersible arc welding; microstructure

1 引言

钛及其合金由于具有高的比强度, 优良的耐热、耐腐蚀性及良好的焊接性, 已经广泛地应用到航空航天、化工工业等领域。因钛活性很强, 随着温度的升高, 固态下能强烈地吸收空气中的氢、氧、氮, 焊接接头的塑性和韧性迅速下降, 因此, 在焊接过程中需严格地控制热反应和氢、氧、氮的污染, 提高了焊接的难度^[1]。钨极氩弧焊(即 TIG 焊)作为工业常用的熔焊方法, 由于钨电极的载流能力有限, 电弧功率受到限制, 焊接时焊缝熔深较浅, 焊接速度低, 当进行中厚板焊接时, 需要开坡口进行多层多道焊, 大的热

输入使焊缝金属过热产生脆化和带来较大的焊接变形^[2]。

潜弧焊采用氦气作为保护气体, 在电弧力和氦气的共同作用下, 焊接时电弧的吹力可排除焊缝处的熔融金属, 从而使电极电弧下潜到工件表面以下, 由于其热效率较高, 焊接熔深大, 非常适合于厚板钛合金的焊接, 相比真空电子束焊接, 摆脱了钛合金构件对真空室空间要求的局限, 效率高且成本更低^[3]。目前, 有关钛及钛合金的潜弧焊研究的报道较少^[3, 4], 本文针对 TA1 工业纯钛进行潜弧焊焊接工艺试验, 旨在为固体火箭发动机中钛合金构件采用一种低成本高质量的焊接方法提供技术支持。

作者简介: 秦占领 (1980-), 高级工程师, 材料加工工程专业; 研究方向: 金属材料先进焊接技术。

收稿日期: 2014-07-22

2 试验材料及方案

2.1 试验材料

试验选用 TA1 工业纯钛, 规格为 t10mm×300mm×100mm, 其化学成分见表 1, 试验用氩气纯度为 99.99%, 氦气纯度为 99.99%。

表1 TA1工业纯钛化学成分 %

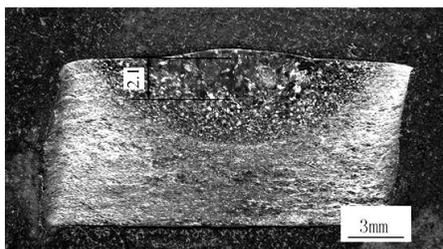
Fe	Si	N	O	H	C	Ti
0.04	0.1	0.02	0.075	0.005	0.05	余量

2.2 试验方案

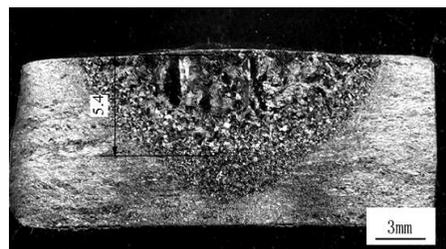
因钛及钛合金材料在空气中放置一段时间后, 表面会形成一层致密的氧化膜, 很容易从环境大气中吸收湿气, 焊接时导致氢溶解到接头中形成气孔。在焊前首先用丙酮去除表面油污后, 对试件及焊丝进行酸洗清理, 酸洗液用 5%HF+35%HNO₃ 的混合酸溶液, 酸洗后用净水冲洗, 烘干后用丙酮擦拭钛板坡口及其两侧和焊丝表面, 然后进行 TA1 纯钛的潜弧焊工艺试验, 焊接工艺参数见表 2。

表2 10mm厚 TA1 纯钛潜弧焊工艺参数

电流 I/A	焊接速度 V/cm·min ⁻¹	电压 U/V	喷嘴气流量 /L·min ⁻¹	拖罩气流量 /L·min ⁻¹
455	24	15	15	18



a 100% Ar



b 100% He

图1 TA1 纯钛不同气体保护时 TIG 焊横截面形貌

3.2 TA1 纯钛潜弧焊接头显微组织分析

TA1工业纯钛板潜弧焊接接头分为母材区、热影响区、熔合区及焊缝区四个区域, 图2所示为各个区域的显微组织形貌。由图中可以看到, 母材为板条状 α 组织, 焊缝区由于受到的热输入较大, 其组织与母材明显不同, 由母材的板条状转变为柱状 α , 在 α 内部同时还伴随有针状 α 组织, 这是由于潜弧焊焊缝熔池较宽, 而冷却速度慢, 高温停留时间长, α 相析出后并受热粗化, 针状 α 组织是在焊接冷却的过程中产生的。熔合区位于热影响区和焊缝区之间, 是焊接接头在焊接过程中熔化部分和固相部分的交界, 在此区

焊后沿垂直于焊缝方向的横截面截取金相试样, 抛光腐蚀后观察接头的显微组织。选择焊缝成形较好且内部无缺陷的焊件, 按标准制备拉伸试样并进行拉伸试验, 测量焊接接头的抗拉强度 σ_b 。

3 试验结果与分析

3.1 氦气对 TA1 纯钛焊缝熔深的影响

图 1a、图 1b 为当焊接电流 $I=240A$, $U=15V$, $V=24cm/min$, 分别采用氩气和氦气进行保护时 TA1 焊接接头沿焊缝横截面形貌, 由图可以看出, 当采用 100% 氩气时, 焊接接头熔深为 2.1mm, 当采用 100% 氦气进行焊接时, 焊接接头的熔深达到 5.4mm。由此可见, 采用氦气进行保护的潜弧焊可获得大熔深的焊接接头。氦气对焊缝熔深的影响主要是由于氦的电离电位高、导热率比氩气高得多, 因此在同样的电流和电弧长度下, 采用纯氦气保护进行施焊的电弧电压比采用纯氩气高, 电弧功率较大, 弧柱细而集中, 且温度更高, 热能输入更大, 从而获得大的熔透率, 随着电弧下潜的深度逐渐增加, 致使焊缝有效熔池的深度逐渐增加^[5]。

域, 焊缝中的柱状晶和热影响区的等轴晶粒联生^[3]。

TA1 纯钛潜弧焊接接头的热影响区较宽, 可分为完全再结晶区、过渡区以及不完全再结晶区三个区域, 即图 2d 中的 A、B、C 三个区域, 各区域的显微组织如图 3 所示, 在完全再结晶区 (A 区), 为等轴 α 组织, 过渡区 (B 区) 既有母材的板条状 α 组织, 又有完全再结晶区的等轴 α 组织, 不完全再结晶区 (C 区) 的显微组织与母材组织相同, 仍为板条状 α 组织, 但其晶粒尺寸大于母材晶粒尺寸, 这是因为, 该区域受到相变温度以下的焊接热输入的影响, 其内部晶粒受热长大。

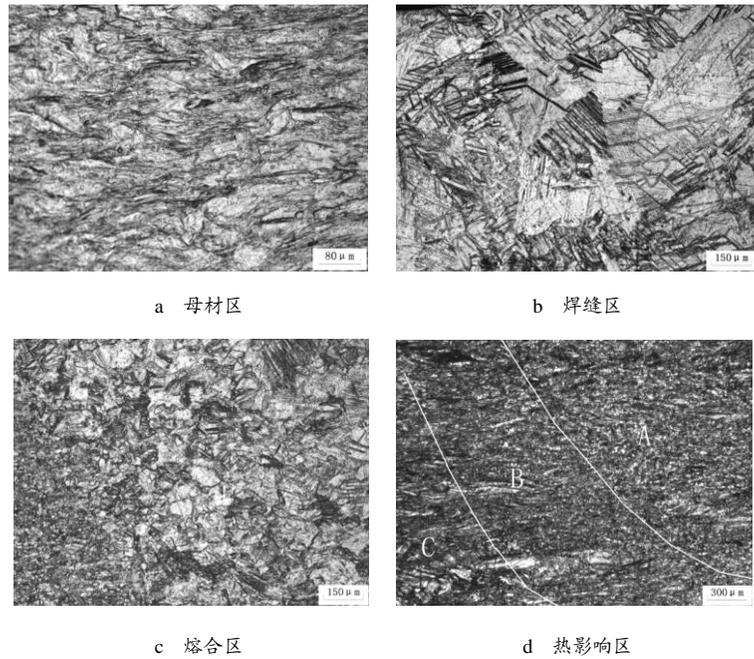


图2 TA1纯钛潜弧焊接头各区域显微组织

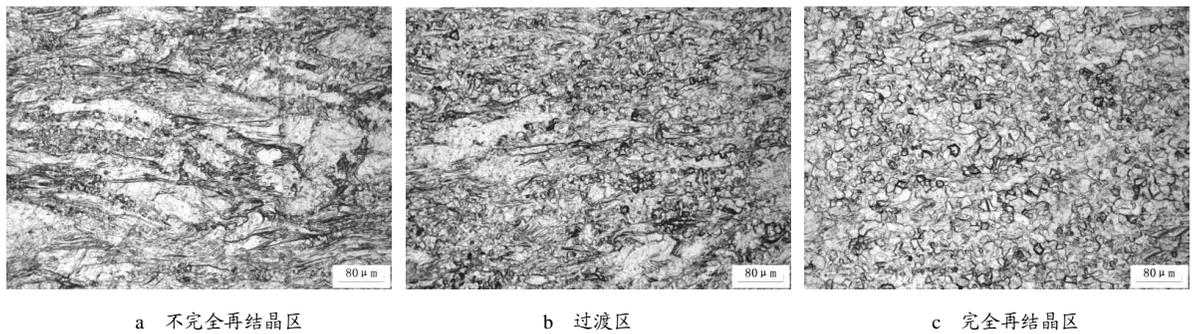


图3 TA1纯钛潜弧焊接头热影响区各区域显微组织

3.3 TA1 纯钛潜弧焊接头拉伸性能分析

表3 TA1 纯钛焊接接头性能测试数据表

状态	编号	抗拉强度 σ_b /MPa	断裂 位置	抗拉强度平均值 $\bar{\sigma}_b$ /MPa	接头系数 /%
母材	TA1JL-1	486	/	486	/
	TA1JL-2	483	/		
	TA1JL-3	488	/		
潜弧 焊接 头	TSHL-1	456	焊缝区	454	93.4
	TSHL-2	458	焊缝区		
	TSHL-3	450	焊缝区		
	TSHL-4	452	焊缝区		
氩弧 焊接 头	THL-1	482	焊缝区	479	98.6
	THL-2	476	焊缝区		
	THL-3	478	熔合区		
	THL-4	480	焊缝区		

表3为TA1工业纯钛潜弧焊接头及采用纯氩气保护时TIG焊接头性能数据，由表中可以看出，采用潜弧焊接TA1纯钛，其平均抗拉强度为454MPa，略低于母材的抗拉强度，断裂位置处于焊接接头的焊缝区。这是因为经焊接快速冷却后，焊缝区呈现粗大的柱状晶组织，与母材板条状组织相比，性能较差，是焊接接头最为薄弱的区域。

与氩弧焊接头相比，TA1工业纯钛潜弧焊接头的抗拉强度略低，这与焊缝区的显微组织有关，由于氩气提高了电弧的聚束能力，氩气的电弧功率和热量集中程度要高于氩气，电弧更为集中，焊接能量密度加强，用于工件焊接的有效能量增多，引起焊接热输入的增加，虽然氩弧焊需同种材质的焊丝来填充焊接坡口，但由于焊接过程为小电流熔敷焊的形式，且每焊

(下转第34页)

